УДК 519.816: 625.111

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ЛИНИЙ ЛЕГКОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА В ПРОЦЕДУРЕ ГРУППОВЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ СТАМБУЛА

Подвербный Вячеслав Анатольевич
Доктор технических наук, профессор кафедры
«Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»,
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
E-mail: *vpodverbniy@mail.ru*

Протасов Никита Михайлович
Аспирант кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»,
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
E-mail: *nekitprotasov@gmail.com*

Перелыгина Анастасия Анатольевна
Аспирант кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»,
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
E-mail: *perelygina_aa@irgups.ru*

Дана краткая характеристика системы пассажирского рельсового транспорта Стамбула, рассмотрены перспективы её развития. Описаны основные этапы работы турецких исследователей Н. Юджеля и С.Э. Ташабата по эколого-экономической оценке вариантов городских пассажирских линий легкорельсового транспорта (метро и трамвая), их многокритериальному сравнению двумя методами: по методу анализа иерархий AHP и по методу лучшего-худшего критерия BWM. На основе материалов работы турецких исследователей выполнен тестовый пример обработки результатов возможного принятия решения группой депутатов муниципального совета Стамбула – ранжированию по предпочтительности четырех альтернатив метро. Получена возможная ранжированная последовательность альтернатив. Первое место по приоритету заняла альтернатива А3 – линия метро Кадыкей – Султанбейли. Сделан вывод о том, что в задачах общественнозначимого, группового и многокритериального принятия решений, необходимо применять метод Шульце (эвристику сильнейшего пути) для того, чтобы обоснованно делать выбор.

Ключевые слова: *система пассажирского рельсового транспорта Стамбула; многокритериальная оценка альтернатив; групповое принятие решений, метод Шульце.*

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF OPTIONS FOR URBAN PASSENGER LIGHT RAIL LINES IN THE PROCEDURE OF GROUP DECISIONS ON THE EXAMPLE OF ISTANBUL

Podverbnyy Vyacheslav Anatolyevich
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
"Construction of Railways, Bridges and Tunnels", Irkutsk State Transport University
E-mail: *vpodverbniy@mail.ru*

Protasov Nikita Mikhailovich
Postgraduate student of the Department
"Construction of Railways, Bridges and Tunnels", Irkutsk State Transport University
E-mail: *nekitprotasov@gmail.com*

Perelygina Anastasia Anatolyevna
Postgraduate student of the Department
"Construction of Railways, Bridges and Tunnels", Irkutsk State Transport University
E-mail: *perelygina_aa@irgups.ru*

A brief description of the passenger rail transport system of Istanbul is given, the prospects for its development are considered. The main stages of the work of Turkish researchers N. Yudzhel and S.E. Tashabat on the ecological and economic assessment of options for urban passenger light rail lines (metro and tram) are described, their multi-criteria comparison by two methods: by the method of analysis of hierarchies AHP and by the method of the best-worst criterion BWM. Based on the materials of the work of Turkish researchers, a test example of processing the results of a possible decision-making by a group of deputies of the Municipal Council of Istanbul – ranking by preference of four alternatives to the metro was performed. A possible ranked sequence of alternatives is obtained. The first priority was taken by alternative A3 - Kadikey – Sultanbeyli metro line. It is concluded that in the tasks of socially significant, group and multi-criteria decision-making, it is necessary to apply the Schulze method (the strongest path heuristic) in order to make a reasonable choice.

Keywords: *Istanbul passenger rail transport system; multi-criteria evaluation of alternatives; group decision-making, Schulze method.*

Стамбул – это мегаполис с большой плотностью населения. Транспорт – одна из самых важных проблем этого города, соединяющего два континента – Европу и Азию. Численность населения Стамбула превысила 15,7 миллиона человек, при том, что население Турции составляет 82,3 миллиона человек. Площадь Стамбула составляет 1375 км^2, плотность населения – 11,133 тыс. чел./км^2. Численность населения Стамбула за последние пять лет выросла на 0,9 млн человек (на 6,4 %). Важно учитывать, что общая численность проживающих в Стамбуле с учетом беженцев, иммигрантов и иностранных гостей, составляет более 18 миллионов человек. Кроме того, Стамбул – это город с интенсивным туризмом, который привлекает около 15–20 миллионов туристов в год.

Поэтому необходимо эффективно организовать пассажирские перевозки самым качественным и экологически чистым способом, а линии метро являются незаменимой системой общественного транспорта для больших городов, так как экологические показатели метро

наилучшие, хотя есть особенности – высокая первоначальная стоимость.

В Стамбуле, где создается крупнейшая сеть метро, сложно осуществить строительство новых линий за счет существующих годовых бюджетов города. Обеспечить финансирование можно с помощью долговых моделей на срок 10−15 лет и дольше, используя механизмы проектного финансирования и выпуск долговых облигаций [7].

И в то же время, следует учитывать, что развитие транспортной инфраструктуры способствует улучшению инвестиционного климата в городе, регионе, стране, что в свою очередь обеспечивает «… приток внутренних и внешних инвестиций в реальный и финансовый секторы, и, следовательно, положительно влияет на расширение налоговой базы» [5].

В таких крупных городах, как Стамбул, городские железнодорожные системы – системы легкорельсового транспорта, являются наиболее подходящим видом транспорта, который может решить транспортную проблему города. Развитие Стамбула в направлении Север-Юг и увеличение дальности поездок показывают, что необходимы решения по эффективному развитию железнодорожной системы города, предназначенной для массовых пассажирских перевозок.

Доля железнодорожной системы Стамбула в пассажирских перевозках в 2017 году составляла 18 % (около 15 миллионов поездок в день) [1].

С тех пор были осуществлены новые проекты по замене автомобильных маршрутов на железнодорожные (легкорельсовые), за счет чего доля железнодорожных перевозок в Стамбуле увеличилась.

В 2019 г. на полную мощность заработала линия Мармарай (Marmaray) – интегрированная с метро пригородная железнодорожная линия, проходящая в сейсмостойком тоннеле под Босфором и соединяющая прибрежные территории Мраморного моря. По обе стороны пролива на линии Marmaray есть пересадки на линии метро, именно это проектное решение обеспечило увеличение доли железнодорожного транспорта в общем пассажиропотоке Стамбула до 40 %.

В настоящее время планируется строительство Great Istanbul Tunnel – совмещённого тоннеля под Босфором (два уровня для автомобильного транспорта и один уровень для метро), суточная пропускная способность которого ожидается на уровне 120 тысяч автомобилей и около 1,5 млн пассажиров в сутки, так как линия метро напрямую соединит системы метро по обе стороны пролива Босфор [1].

Таким образом, обеспечивая преимущественный рост экономики знаний в развитие инфраструктуры метро, в том числе, под проливом Босфор, Стамбул обеспечивает основу модернизации и внедрения инноваций в массовых пассажирских перевозках [6].

В 2022 году, у муниципалитета Стамбула (Istanbul Metropolitan Municipality, IMM) ещё более амбициозные планы по развитию метро.

На сегодня эксплуатируются 8 линий метро (107 станций, 133 км путей), а с учетом городских железных дорог, общая протяженность пассажирского рельсового транспорта Стамбула составляет 239 км. Продолжается строительство 109 новых станций метро. Общую протяжённость путей городского и пригородного пассажирского рельсового транспорта к 2030 г. планируется довести до 630 км (с учётом трамваев и пригородных электричек) [1].

Идея муниципалитета Стамбула заключается в том, чтобы убрать автобусы, дублирующие линии метро, а маршрутные такси превратить в «фидеры» (вспомогательные линии) для подъезда к ближайшим пересадочным узлам или к станциям магистрального

транспорта. Таким образом, развитие транспортной системы «догоняет» рост города Стамбула, приходя во вновь построенные районы, ранее полагавшиеся исключительно на автотранспорт.

Исследование, приведенное в настоящей статье, состоит из двух частей.

В первой части рассмотрена эколого-экономическая оценка вариантов городских пассажирских линий легкорельсового транспорта (линий метро и трамваев) в Стамбуле, и их многокритериальное сравнение двумя методами: по методу анализа иерархий AHP и по методу лучшего-худшего критерия BWM, в исследовании, проведенном двумя турецкими учеными в 2019 году [4].

Во второй части проведено оригинальное исследование на материале первой части и показана процедура группового принятия решения по ранжированию четырех альтернатив.

Часть I. Описание результатов исследования, проведенного в работе турецких ученых Н. Юджеля и С.Э. Ташабата

В 2019 году в работе, проведенной исследователями Ниханом Юджелем (Nihan Yücel) и Семрой Эрполатом Ташабатом (Semra Erpolat Taşabat), озаглавленной «Выбор проектов железнодорожной системы с использованием многокритериальных методов принятия решений: целевое исследование для Стамбула», авторами были рассмотрены 13 вариантов железнодорожных линий легкорельсового транспорта (Light Rail Transport), предложенных столичным муниципалитетом Стамбула (IMM) [4].

Варианты различались трассами прохождения и типом подвижного состава, были рассмотрены 11 вариантов метро и 2 варианта трамвая.

Исследователями из Стамбула была поставлена цель: выполнить многокритериальную эколого-экономическую оценку вариантов, проранжировать альтернативы и выбрать наилучший вариант легкорельсового транспорта – городской железной дороги.

Были определены 4 основных критерия достижения цели:

1) пассажирские услуги (Passenger services);

2) окружающая среда (The Environment);

3) экономика (Economics);

4) архитектура и урбанизм (Architecture and urbanism).

Третий уровень иерархии состоял из 23 субкритериев.

Была произведена расстановка приоритетов между альтернативными проектами. Турецкие исследователи отметили, что для проектов железнодорожной системы, требующих больших ресурсов, выбирается наиболее выгодный проект, так как невозможно выполнить все проекты одновременно, поскольку ресурсы не безграничны. Основные критерии и субкритерии были определены Н. Юджелем и С.Э. Ташабатом с использованием обзора литературы и экспертных заключений.

Взвешивание критериев и сравнение альтернатив было проведено с помощью двух методов:

1) с использованием метода анализа иерархий AHP (Analytic Hierarchy Process, AHP), предложенного в 1980 году американским ученым Томасом Саати (Saaty, T.L.) [16];

2) с использованием метода лучшего-худшего критерия BWM (Best-Worst Method), который был предложен в 2015 году Джафаром Резаи из Делфтского технологического университета (Delft University of Technology, Netherlands) [2].

Основной целью исследования Н. Юджела и С.Э. Ташабата было – показать, что BWM может быть использован в качестве альтернативы методу AHP для эффективного и быстрого принятия решения в тех случаях, когда количество альтернатив и критериев (субкритериев) велико.

Турецким исследователям это удалось.

Сначала Н. Юджель и С.Э. Ташабат использовали метод аналитической иерархии, разработанный Томасом Саати, и программу Super Decisions, разработанную компанией Creative Decisions Foundation [3].

Super Decisions – это программное обеспечение для поддержки принятия решений, которое реализует аналитический иерархический процесс (AHP) или аналитический сетевой процесс (ANP) для эффективного ранжирования вариантов проектных решений. Иерархическая модель процесса принятия решения по сравнению 13 вариантов железнодорожных линий легкорельсового транспорта, построенная Н. Юджелем и С.Э. Ташабатом в программе Super Decisions, представлена на рисунке 1.

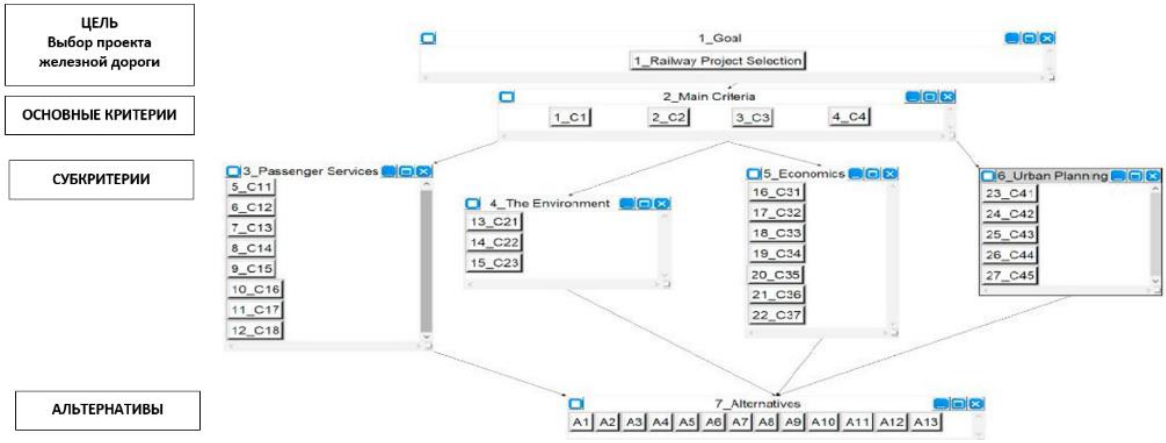

Рисунок 1 – Иерархическая модель процесса принятия решения, построенная в программе Super Decisions

Исследователями для сравнения были приняты 13 альтернатив – вариантов городской железнодорожной линии, характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Таблица альтернатив – вариантов городской железнодорожной линии

Название линии на турецком	Код линии	Число станций	Длина линии, км	Приблизительная стоимость строительства, тыс. турецких лир	Время в пути, мин	Запрос на путешествие, поездок в день
Метро Альтунизаде – Чамлыка	A1	4	3,6	611 540	12,0	8 100
Метро Истинье – Гюмюшхане	A2	10	12,0	4 500 000	23,0	35 000
Метро Кадыкей – Султанбейли	A3	8	19,0	7 600 000	28,0	70 000
Метро Казлычешме – Иугутлычешме	A4	13	20,0	6 971 000	7,5	70 000

Метро Аэропорт Сабиха Гекчен – Куркей	A5	4	6,0	2 120 000	8,5	50 000
Метро Сейрантепе – Алибейкей	A6	4	7,0	2 199 000	8,5	70 000
Метро Султангази – Албанкей	A7	5	15,0	6 050 000	16,0	45 000
Метро Везнеллер – Султангази	A8	15	17,5	4 539 109	26,5	45 000
Метро Саригази – Турецкий блок метро	A9	6	5,6	2 112 500	8,0	35 000
Метро Еникапи – Сефакей	A10	11	14,0	6 646 700	21,0	70 000
Метро Каяшехир – Фенертепе	A11	3	3,0	2 340 000	10,0	70 000
Трамвай Эсенлер – Давутпаша	A12	9	2,2	2 950 000	20,0	3 000
Трамвай Еюп – Байрампаша	A13	6	3,1	2 950 000	20,0	2 5000

Основные 4 критерия (C1 – C4) и 23 субкритерия (C11 – C45), которые использовали турецкие исследователи, сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Основные критерии и субкритерии для сравнения альтернатив

Код основного критерия	Основные критерии	Код субкритерия	Субкритерии
C1	Пассажирские перевозки	C11	Пропускная способность
		C12	Безопасность
		C13	Комфорт
		C14	Время поездки
		C15	Возможность наиболее выгодного доступа к другим междугородним транспортным системам
		C16	Возможность создания и развития железнодорожных линий в будущем
		C17	Доступность
		C18	Запрос на путешествие
C2		C21	Гармония с образом города

	Окружающая среда	C22	Гармония с окружающей средой (шум / воздух/визуальные загрязнения)
		C23	Возможность сохранения существующих полезных видов землепользования
C3	Экономика	C31	Инвестиционные затраты
		C32	Стоимость транспортного средства
		C33	Эксплуатационные расходы
		C34	Потенциал возврата инвестиционных затрат
		C35	Возможность создания добавленной стоимости для региона
		C36	Возможность снижения путевых расходов
		C37	Стоимость экспроприации
C4	Архитектура и урбанизм	C41	Архитектура и урбанизм
		C42	Плотность населения
		C43	Рост населения
		C44	Координация с планами городского развития Стамбула
		C45	Наличие потенциала для будущего развития

Для определения весов критериев было проведено бинарное сравнение их важности (силы) в программе Super Decisions.

Скриншот этапа бинарного сравнения субкритериев C33 «Эксплуатационные расходы» и C11 «Пропускная способность» приведен на рисунке 2.

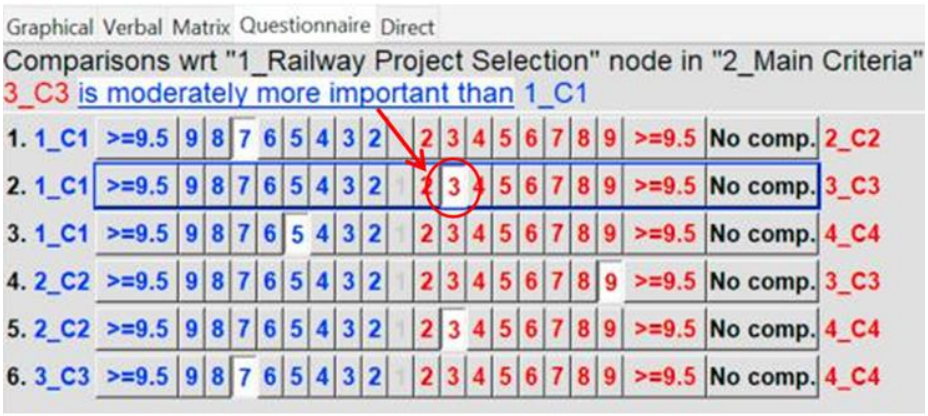

Рисунок 2 – Скриншот этапа бинарного сравнения субкритериев C33 «Эксплуатационные расходы» и C11 «Пропускная способность»

Лицом, принимающим решение, были исследователи Н. Юджель и С.Э. Ташабат, именно их предпочтение в данном сравнении субкритериев отражено на рисунке 3: субкритерий C33 «Эксплуатационные

расходы» является умеренно более важным, чем субкритерий С11 «Пропускная способность» (3_C3 is moderately more important than 1_C1).

Затем в программе Super Decisions были определены приоритеты основных критериев и субкритериев.

На рисунке 3 приведен скриншот из программы с результатом определения приоритетов (весов) основных критериев.

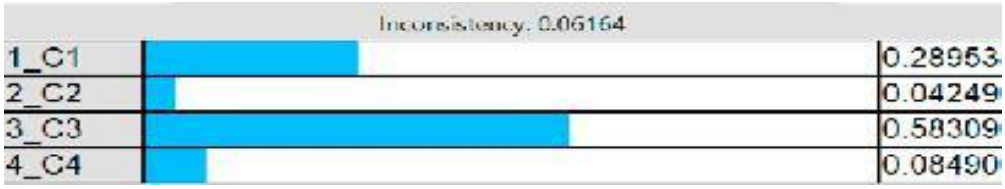

Рисунок 3 – Скриншот результата определения приоритетов (весов) основных критериев

Следует отметить приемлемое значение несогласованности (Inconsistency = 0, 06164) для полученного распределения приоритетов основных критериев.

Итоги исследования, проведенного Н. Юджелем и С.Э. Ташабатом

Согласно результатам, полученным Н. Юджелем и С.Э. Ташабатом в исследовании, где они выступали в качестве единоличного ЛПР, было получено следующее результирующее ранжирование – выбраны 4 лучших альтернативы. Эти альтернативы были в верхней части рейтинговых списков, сформированных по обоим методам – по методу анализа иерархий AHP и по методу лучшего-худшего критерия BWM:

1) линия метро Кадыкей – Султанбейли (A3);

2) линия метро Казлычешме – Иугутлычешме (A4);

3) линия метро Еникапи – Сефакей (A10);

4) линия метро Каяшехир – Фенертепе (A11).

Таким образом, предпочтения ЛПР могут быть записаны следующим образом:

A3 ≻ A4 ≻ A10 ≻ A11.

Символ ≻ выражает предпочтение между альтернативами. Запись A3 ≻ A4 имеет значение: «Альтернатива A 3 более предпочтительна, чем альтернатива A 4».

Часть II. Описание результатов исследования, проведенного В.А. Подвербным, Н.М. Протасовым и А.А. Перелыгиной

Во второй части статьи приведено описание результатов исследования, проведенного В.А. Подвербным, Н.М. Протасовым и А.А. Перелыгиной по тестовому групповому ранжированию на основе метода Шульце четырех лучших альтернатив, принятых турецкими исследователями Н. Юджелем и С.Э. Ташабатом.

Подчеркнем, что основные критерии и субкритериальный набор были определены двумя турецкими исследователями с учетом их предпочтений и проведенного ими анализа литературы и изучения мнений экспертов.

Однако, в таком важном и сложном вопросе, как выбор варианта рельсового транспорта в Стамбуле, по нашему мнению, необходимо было использовать несколько различных ЛПР, представляющих интересы различных групп населения, политических партий и экспертных сообществ.

Напомним, что исследователи Н. Юджель и С.Э. Ташабат являются сотрудниками Университета изобразительных искусств имени Мимара Шинана (Mimar Sinan Fine Arts University). Это турецкий государственный университет,

специализирующийся на высшем образовании в области изобразительного искусства. Вероятно, поэтому в их структуре предпочтения критерий «С4 – Архитектура и урбанизм» = 0,08 – сильнее в 2 раза, чем критерий «С2 Окружающая среда = 0,04» (см. рис. 3).

В то же время, при групповом принятии решений возможно отношение нетранзитивности между альтернативами. Если предположить, что в процедуре сравнения альтернатив примет участие большое число различных ЛПР, то необходимо будет учитывать их итоговое ранжирование, которое вполне вероятно приведет к нетранзитивности предпочтений в соответствии с парадоксом Кондорсе.

И тогда необходимо будет применить метод Маркуса Шульце, предложенный в 1997 году – «метод сильнейшего пути» (beatpath method), а точнее – применить эвристику пути (path heuristic) метода Шульце [8].

Метод предлагается использовать для получения отсортированного по предпочтительности списка альтернатив. Чем больше ЛПР предпочитают альтернативу А альтернативе В, тем сильнее победа А над В.

Силой сильнейшего пути p[A, B] от альтернативы А к альтернативе
В называется максимум значений силы всех возможных путей от А до В.

Если пути от А к В не существует, то сила p[A, B] = 0.

Альтернатива А побеждает альтернативу В косвенно, если выполняется любое из двух следующих условий:

1) сила сильнейшего пути от А к В сильнее, чем сила сильнейшего пути от В к А;

2) существует путь от А к В, а пути от В к А не существует.

Предлагается проводить процедуру ранжирования альтернатив в два этапа.

На первом этапе так же, как в работе Н. Юджеля и С.Э. Ташабата с использованием подробного набора критериев и субкритериев проводится выбор из исходного множества альтернатив нескольких лучших альтернатив, так называемая процедура сужения исходного множества альтернатив.

На втором этапе привлекаются 55 ЛПР (членов муниципального совета Стамбула), которые, используя предложенную структуру предпочтения и программное обеспечение Super Decisions, проводят процедуру коллективного выбора, составляя свои ранжированные перечни из лучших альтернатив.

Поясним, почему нами предложено именно 55 ЛПР.

Муниципальный совет Стамбула (*англ.* Istanbul Municipal Council; *тур.* Büyükşehir Belediye Meclisi) является высшим органом принятия решений столичного муниципалитета Стамбула (IMM). Количество членов совета составляет 55 человек. В задачи совета входит разработка и принятие городского бюджета, контроль за его исполнением, принятие решений относительно инвестиций в объекты городской инфраструктуры: дороги, системы водоснабжения, водоотведения, электро- и газоснабжения. Кроме того, совет определяет размер местных налогов и ставки арендной платы за жилье, а также принимает планы пространственного развития города [9].

Почему же нельзя сократить число ЛПР? Потому что у каждого депутата может быть свое мнение, как например у профессора строительного факультета Стамбульского технического университета, доктора Халука Герчека (Haluk Gerçek), который утверждает, что «… для устойчивого развития города и транспорта необходимо разработать и реализовать продуманные генпланы, и хотя за последние годы такие планы

были разработаны, но большинство инвестиций им противоречат» [15].

Например, был подготовлен экологический план Стамбула в масштабе 1 : 100 000, которому был присвоен статус «экологической конституции города», а также были разработаны несколько генеральных планов транспорта. И все эти планы в полном объеме не были реализованы. Планы составлялись как юридическое обязательство, но потом принимались незапланированные решения о развитии города и транспорта, решения, которые были ориентированы на единоличные предпочтения политиков, что приводило к хаотичной ситуации с развитием транспортной инфраструктуры в Стамбуле [15].

Теперь рассмотрим проблемную ситуацию.

Допустим, что 55 ЛПР, входящих в муниципальный совет Стамбула, проранжировали четыре лучших альтернативы следующим образом:

1) 10 ЛПР построили порядок по убыванию предпочтения:

А3 ≻ А4 ≻ А10 ≻ А11,

данный порядок можно записать как

10 (А3; А4; А10; А11),

в этой записи число перед скобками означает количество ЛПР,

предоставивших порядок ранжирования, записанный в скобках;

2) 7 ЛПР построили другой порядок по убыванию предпочтения:

А3 ≻ А11≻ А10 ≻ А4, следовательно –

7 (А3; А11; А10; А4);

и так далее:

3) 11 (А3; А11; А4; А10);
4) 6 (А4; А11; А3; А10);
5) 4 (А10; А11; А4; А3);
6) 5 (А11; А10; А3; А4).
7) 2 (А10; А11; А3; А4).
8) 10 (А11; А10; А4; А3).

Можно проиллюстрировать создавшуюся ситуацию рисунком 4, на котором приведены 8 стопок листов, в которых указаны полученные ЛПР порядки альтернатив по убыванию предпочтения.

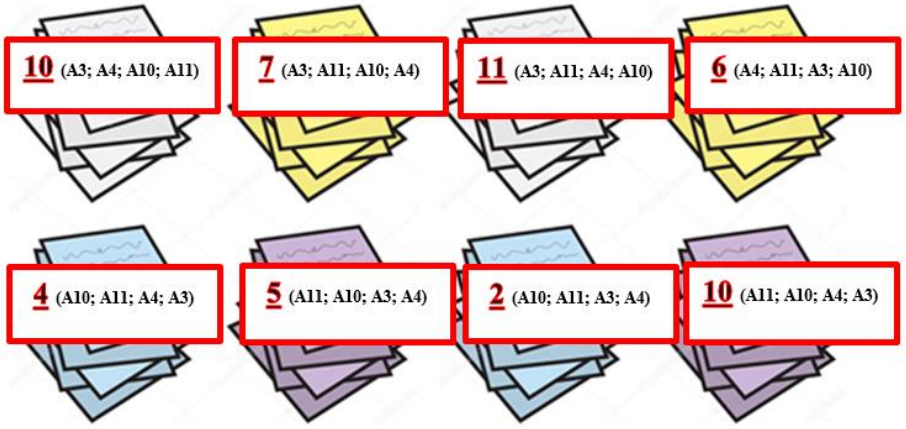

Рисунок 4 – Итоги группового решения ЛПР задачи ранжирования альтернатив

Затем была построена матрица предпочтений ЛПР (рис. 5).

Число ЛПР, которые предпочли одну альтернативу другой				
	D [*, A3]	D [*, A4]	D [*, A10]	D [*, A11]
D [A3, *]		35	34	28
D [A4, *]	20		27	16
D [A10, *]	21	28		16
D [A11, *]	27	39	39	

Рисунок 5 – Матрица предпочтений ЛПР

После анализа путей, каждый переход в которых удовлетворяет условию D [X, Y] > d[Y, X], в тестовом примере были выявлены следующие дуги – направленные ребра ориентированного графа:

A3→A4, A3→A10, A3→A11, A10→A4, A11→A4, A11→A10.

После заполнения матрицы предпочтений ЛПР и выявления ребер был построен исходный орграф (рис. 6).

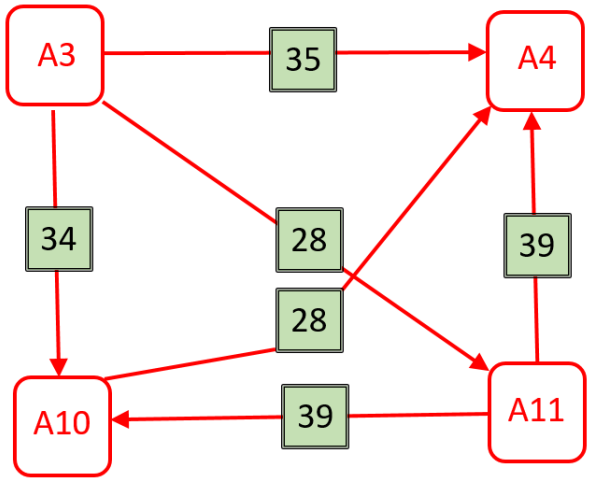

Рисунок 6 – Исходный орграф

Сила пути – это сила его слабейшего звена (критического звена).

Был выполнен расчет силы сильнейших путей от всех альтернатив X к альтернативам Y.

Например, для пути A3 → A4 были найдены три пути:

A3 → (35) → A4; сила пути p_1[A3, A4] = 35;

A3 → (28) → A11 → (39) → A4; сила пути p_2[A3, A4] = 28;

A3 → (34) → A10 → (28) → A4; сила пути p_3[A3, A4] = 28.

Тогда, сила сильнейшего пути p_{max}[A3, A4] = 35.

Итоговая таблица сил сильнейших путей по всем альтернативам представлена на рисунке 7.

Силы сильнейших путей Выбор первой по предпочтению альтернативы				
	p [*, A3]	p [*, A4]	p [*, A10]	p [*, A11]
p [A3, *]		35	34	28
p [A4, *]	0		0	0
p [A10, *]	0	28		0
p [A11, *]	0	39	39	

Рисунок 7 – Итоговая таблица сил сильнейших путей по всем альтернативам, выбор первой по предпочтению альтернативы А3

По методу Шульце победителем с наивысшим приоритетом была определена альтернатива А3, так как p[A3, X] $\geqslant$ p[X, A3] для любой другой альтернативы X. Альтернатива А3 как первая по предпочтению выделена маркером в таблице (см. рис. 7).

После выбора первой альтернативы, необходимо удалить соответствующие ей строку и столбец из таблицы, и повторить сравнение.

На второе место по приоритету была поставлена А11 (рис. 8).

Силы сильнейших путей. Выбор второй по предпочтению альтернативы			
	p [*, A4]	p [*, A10]	p [*, A11]
p [A4, *]		0	0
p [A10, *]	28		0
p [A11, *]	39	39	

Рисунок 8 – Силы сильнейших путей (кроме первой по предпочтению альтернативы А3), выбор второй по предпочтению альтернативы А11

Наконец, на третье место встает альтернатива А10.

Следовательно, итоговое распределение альтернатив по предпочтению после принятия решения в тестовом примере группой ЛПР из 55 членов муниципального совета Стамбула будет выглядеть следующим образом:

А3 ≻ А11 ≻ А10 ≻ А4, что несколько изменяет исходное ранжирование, полученное турецкими исследователями Н. Юджелем и С. Ташабатом:

А3 ≻ А4 ≻ А10 ≻ А11.

Наилучшей альтернативой по-прежнему является А3 – линия метро Кадыкей – Султанбейли, показанная на рисунке 9.

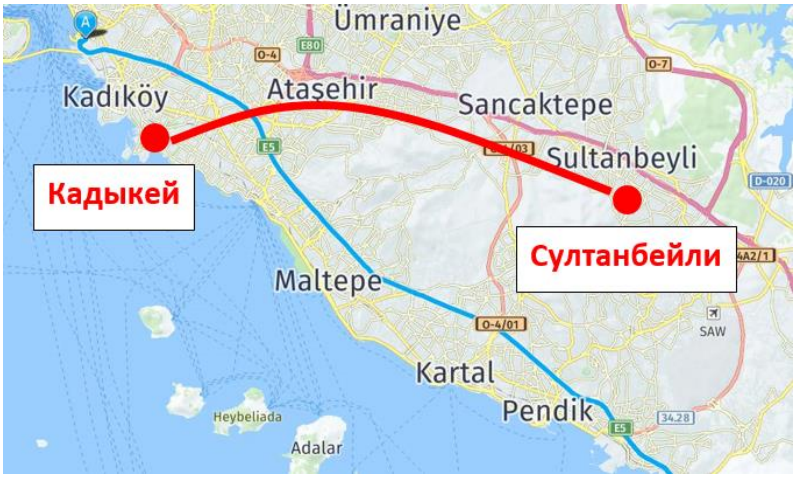

Рисунок 9 – Наилучшая альтернатива по результатам группового принятия решения – А3 – линия метро Кадыкей – Султанбейли

Разумеется, сами предпочтения депутатов муниципального совета Стамбула были не известны авторам настоящей статьи.

Целью работы было показать на тестовом примере как необходимо обрабатывать результаты выбора группой ЛПР их ранжированные по предпочтениям последовательности альтернатив.

Глубокое убеждение авторов состоит в том, что в задачах общественнозначимого, а, следовательно, всегда – группового и многокритериального принятия решений, необходимо применять метод Шульце (эвристику сильнейшего пути) для того, чтобы обоснованно делать выбор.

На начальных этапах проектирования систем транспортной инфраструктуры в задачах многокритериального принятия решений в нечеткой среде необходимо обратиться к специальным методам [12, 13, 14].

Мэр Стамбула Экрем Имамоглу (Ekrem İmamoğlu) сказал в своем интервью: «Выбор наилучшего варианта проекта метро – это не работа 3–5 технических специалистов за столом. Чтобы принимать важные решения о будущем города с шестнадцатимиллионным населением, необходимо спрашивать депутатов и население Стамбула» [11].

Поэтому отделом обработки информации муниципалитета был разработаны и внедрены портал и мобильное приложение «Стамбул твой» («İstanbul senin»), с помощью которых проводятся опросы и голосования жителей Стамбула по различным проектам, а также проводится обсуждение бюджета города. На сегодня обсуждение уже прошли более 4 тысяч проектов, предложенных жителями Стамбула. При этом Экрем Имамоглу подчеркивает: «Мы настаиваем на

широком участии жителей, чем больше умов для нас, тем правильнее решение» [11].

Предложения на портале оцениваются с технической и юридической точки зрения, затем лучшие проекты, прошедшие оценку экспертов, представляются на итоговое голосование жителей. Проекты, прошедшие голосование, находящиеся в пределах установленного бюджетного лимита и набравшие наибольшее число голосов, были включены в городской бюджет 2023 года.

Как справедливо отмечалось в работе Ж.С. Тихоновой: «Основной задачей системы государственного управления в сфере экологизации является ее обеспечение экономически и институционально эффективного государственного управления использованием природных ресурсов, соответствующего демократическому устройству и рыночной экономике» [17].

Именно такие решения принимаются муниципалитетом Стамбула – это проекты, принятые в рамках обсуждения на портале «Стамбул твой»: «Электрические автобусы» (код проекта 36221652); «Зеленый Стамбул» (код проекта 61142368); «Живые рощи» (код проекта 08127374); «Зеленый пояс» (код проекта 88176140) [10].

Заключение

Дана краткая характеристика системы пассажирского рельсового транспорта Стамбула, рассмотрены перспективы её развития.

Описаны основные этапы работы турецких исследователей Н. Юджеля и С.Э. Ташабата по эколого-экономической оценке вариантов городских пассажирских линий легкорельсового транспорта (метро и трамвая), их многокритериальному сравнению двумя методами: по методу анализа иерархий AHP и по методу лучшего-худшего критерия BWM.

На основе материалов работы турецких исследователей выполнен тестовый пример обработки результатов возможного принятия решения группой депутатов муниципального совета Стамбула – ранжированию по предпочтительности четырех альтернатив метро. Получена возможная ранжированная последовательность альтернатив. Первое место по приоритету заняла альтернатива А3 – линия метро Кадыкей – Султанбейли.

Сделан вывод о том, что в задачах общественнозначимого, группового и многокритериального принятия решений, необходимо применять метод Шульце (эвристику сильнейшего пути) для того, чтобы обоснованно делать выбор.

Список использованных источников и литературы

1. Malecci, S. Развитие Стамбула: султан сказал — султан сделал экраны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/663270/ – Загл. с экрана (дата обращения: 04.05.2022).

2. Rezaei, J. Best-worst multi-criteria decision-making method // Omega (United Kingdom), 2015. – № 53. – P. 49–57 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.expertchoice.ir/wp-content/uploads/2017/11/Best-worst-multi-criteria-decision-making-method-1.pdf – Загл. с экрана (дата обращения: 13.05.2022).

3. Super Decisions – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://superdecisions.com/downloads/index.php?section=win2_X – Загл. с экрана (дата обращения: 23.04.2022).

4. Yücel N., Taşabat S.E. The Selection of Railway System Projects with Multi Creteria Decision Making Methods: A Case Study for Istanbul // Entrepreneurship 3rd

World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship (WOCTINE). – Procedia Computer Science. – 2019 – № 158. – P.382–393.

5. Алагаева, К.Ю. Факторы роста налоговых доходов областного бюджета (на примере Ростовской области) / К.Ю. Алагаева // Стратегия социально-экономического развития общества: управленческие, правовые, хозяйственные аспекты : Материалы Международной научно-практической конференции: в 2-х томах, 2011. – Т. 1 – С. 16–20.

6. Анесянц, С.А. Место российской экономики и социальной сферы в мире и перспективы её инновационного прорыва / С.А. Анесянц // Ученые записки Института управления, бизнеса и права. Серия: Экономика. – 2014. – № 4. – С. 84–106.

7. Кредит 110 в миллион евро от Deutsche Bank для метро Султанбейли Чекмекёй – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.rayhaber.com/2019/11/Кредит-110-в-миллион-евро-от-немецкого-банка-для-султанбейли-цекмекой-метрополитена/ – Загл. с экрана (дата обращения: 16.04.2022).

8. Метод Шульце – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Шульце – Загл. с экрана (дата обращения: 16.04.2022).

9. Мидельский, С.Л. Краткий обзор местного самоуправления в Турции: полезные примеры для Казахстана – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.regionacadem.org/index.php?option=com_content&view=article&id=892&lang=ru&Itemid= – Загл. с экрана (дата обращения: 16.04.2022).

10. Направь будущее Стамбула – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://butcesenin.istanbul/ – Загл. с экрана (дата обращения: 16.04.2022).

11. Обещаю, разрешаю, решаю – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ekremimamoglu.com/neler-yaptik/soz-yetki-karar-istanbullunun/ – Загл. с экрана (дата обращения: 16.04.2022).

12. Подвербный, В.А. Выбор варианта железной дороги на основе критерия нечеткой полезности / В.А. Подвербный // Транспортное строительство. – 2000. - № 7. – С.10–13.

13. Подвербный, В.А. Выбор варианта проектного решения по укреплению от размыва песчаного откоса в полосе отвода железнодорожной линии на основе критерия многомерной нечеткой полезности / В.А. Подвербный, Е.О. Гераськина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС. – 2017. – № 2 (54). – С. 155–162.

14. Подвербный, В.А. Выбор проектного решения в нечеткой среде на основе индексов ранжирования / В.А. Подвербный // Железнодорожный транспорт, 2000. – № 2–3. – С. 34.

15. Причина хаоса в движении в Стамбуле – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.rayhaber.com/2019/08/istanbul-trafiginde-kaosun-nedeni-rantci-kent-anlayisi/ – Загл. с экрана (дата обращения: 16.04.2022).

16. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; Пер с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rosculturexpertiza.ru/files/valuation/saati.pdf – Загл. с экрана (дата обращения: 08.01.2022).

17. Тихонова, Ж.С. Региональные аспекты развития системы управления экологизации производственной сферы как неотъемлемая часть экономики природопользования / Ж.С. Тихонова // Вестник ДГТУ. – 2011. – Т.11. – № 1(52). – С. 107–115.